

## 29. 大規模住宅造成地に適用した丸太打設液状化対策 & カーボンストック(LP-LiC)工法の事例紹介

飛島建設株式会社  
飛島建設株式会社  
株式会社ミサワホーム総合研究所

○ 沼田 淳紀  
村田 拓海  
松下 克也

### 1. はじめに

COP21 では、世界共通の長期目標が立てられ、これに 196 カ国が同意し、今後各国はこれに向けた対応を行うこととなる。一方、2016 年熊本地震においても液状化による被害が発生し、地震国日本では液状化対策が今後さらに望まれると考えられる。日本の森林資源は現在極めて豊富で、樹木を育てる時代から使う時代へとパラダイムシフトしている。木材の長期利用は、地球温暖化緩和に大きく貢献し資源も豊富であることから、木材を大量に使用し液状化対策とする「丸太打設液状化対策&カーボンストック工法 (Log Piling Method for Liquefaction Mitigation and Carbon Stock, 以降、LP-LiC 工法と記す)」が実用化されている。

この工法は、丸太を液状化の発生しやすい地下水位の浅い地盤に打設することで、打設した丸太の体積分地盤を密実にし、液状化対策を行うものである。丸太は、基本的には地下水位以深に没するので、腐朽などの生物劣化を生じることがなく<sup>1)</sup>、これにより木材に炭素を半永久的に貯蔵できるのが大きな特徴である。

今までに、実験的な施工に加え、戸建て住宅、集会所、集合住宅、公園など比較的小規模な施工が実施されてきた。今回、約 1.6ha の大規模住宅地に本工法が適用された。本報では、この事例について、工事にいたる経緯、設計、工事概要、炭素貯蔵効果について紹介する。

### 2. 工事にいたる経緯

大規模分譲住宅「アルビオコート検見川浜」の造成工事では、初めて大規模な液状化対策工事に LP-LiC 工法が採用された。

表-1 に、「アルビオコート検見川浜」の事業概要を示す。2011 年東北地方太平洋沖地震（マグニチュード：9.0、千葉市美浜区真砂における震度：5 強）では、当該地点の敷地内に

明確な液状化発生の記録が確認されていないが、敷地北西側では大量の噴砂が確認され、また、千葉県の液状化しやすさマップでも液状化の可能性が示されていることから、当該地点での液状化対策が実施された。対策工法には、サンドコンパクションパイル工法、砕石パイル工法、鋼管杭工法と LP-LiC 工法の比較が行われ、LP-LiC 工法が、低振動低騒音で周辺環境への影響が少ない、林業の活性化や炭素の地中貯蔵による地盤温暖化緩和策が図れる、（一財）先端建設技術センターの建設技術審査証明を取得し対策効果に裏付けがある、といった理由により採用された。

### 3. 設計

LP-LiC 工法の設計では、主に、丸太径、丸太長さ、丸太打設間隔、丸太頭部深度を決める。液状化判定に対する設計は、既往の設計法を用いる。丸太頭部深度は、丸太の生物劣化を考慮するために行うものである。

図-1 に、当該地点のボーリング調査結果の一例を示す。当該地点は、昭和 30 年代までは浅瀬の海域であり、昭和 40 年代前半に埋め立てられた。GL-3.65m 付近が旧海底面と考えられ、その上位には粘性土またはシルトによる埋土層があり、旧海底面以深には砂層が堆積している。砂層の上端面付近に *N* 値の低い層があり、液状化発生の可能性がある。

液状化に対する目標性能は、国土交通省(都

表-1 アルビオコート検見川浜の事業概要

項目	内容
所在地	千葉県千葉市美浜区真砂三丁目 (旧真砂第4小学校跡地)
開発面積	16,554.85m <sup>2</sup>
区画数	97区画 (平均宅地面積 137.9m <sup>2</sup> )

市局)の「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針(案)」<sup>2)</sup>にならない、GL-5m以浅の各層が「A: 顕著な被害の可能性が低い」となることとした。液状化判定は、建築基礎構造設計指針<sup>3)</sup>に従った。地震動はマグニチュード7.5、地表面水平加速度200Galとした。

LP-LiC工法の液状化対策に関する設計は、サンドコンパクションパイル工法のA法による設計に用いられる図<sup>4)</sup>を参考に、N値を補正N値に拡張した。図-2に、用いた原地盤と丸太打設後の丸太間地盤の補正N値の関係を示す。この図より、原地盤における補正N値から丸太打設後丸太間地盤における補正N値を改良率に対して推定し、丸太径と丸太打設間隔を設定した。この結果、丸太末口径0.15m、丸太打設間隔1.0mとした。表-2に、各ボーリングについて、原地盤と設計で求められた液状化に対する最小の安全率を示す。原地盤では、一部で安全率が1.0を下回る箇所があり、丸太を打設することで、設計ではこれらが1.0を上回るように丸太末口径と丸太打設間隔を設定した。図-3に、国土交通省指針における液状化判定結果を示す。B1とB2の「顕著な被害の可能性が低い」のレベルから、Aの「顕著な被害の可能性が低い」のレベルに改良する設計とした。

丸太頭部深度は、地下水位と建設される構造物の深度より決定した。木材は、地下水位以深では生物劣化を生じないので、丸太は地下水位以深に設置するのが基本である。ただし、地盤は、毛管現象により自由水面よりも高い位置まで飽和状態にあるので、毛管水頭分を考慮した<sup>1),5)</sup>。地下水位は変動するので、その下限値を設定するが、一時的な地下水位低下は生物劣化に影響しないので大局的な地下水位変動を考えた。図-4に、敷地内10地点における地下水位観測結果を示す。図中には、標準貫入試験(以降、

SPTと記す)のボーリング孔内水位も併記した。一様粒径の細砂では毛管水頭を0.5m程度以上見込めること<sup>6)</sup>、地下水位の観測記録より、生物劣化に対する丸太頭部深度は、GL-1.0mとした。さらに、貯水槽の埋設深度との関係から最終的に丸太頭部深度をGL-1.28mとした。なお、丸太頭部は、碎石により充填するが、空気と触

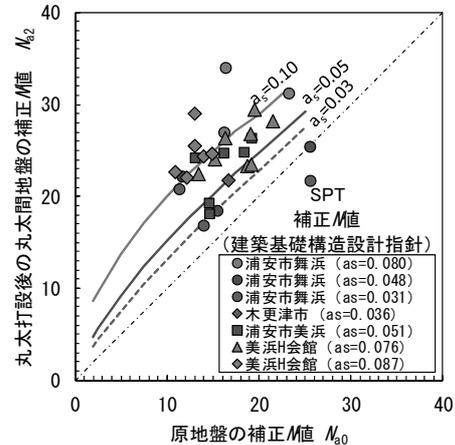


図-2 原地盤と丸太打設後の丸太間地盤の補正N値の関係

表-2 ボーリングごとの液状化に対する安全率

ボーリングNo	最小の液状化に対する安全率 $F_L$ (最小) GL0.0m~5.0m	
	原地盤	設計値
No.1	2.46	2.46
No.2	0.96	1.17
No.3	0.97	1.18
No.4	2.40	2.43
No.5	1.16	1.44

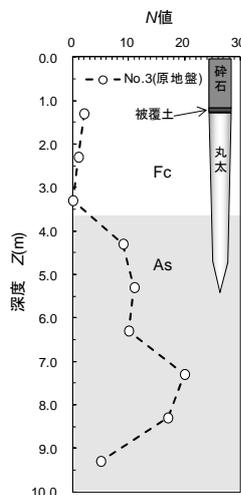
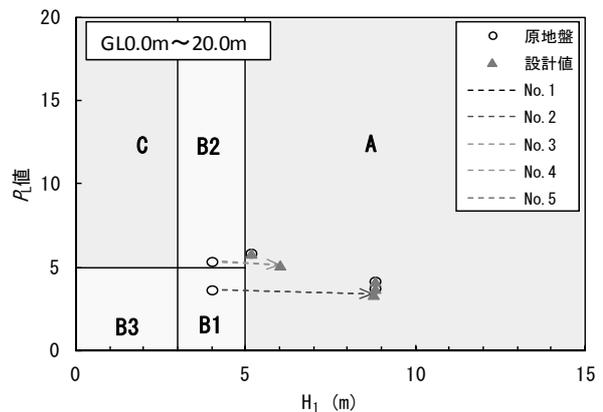


図-1 当該地点のボーリング調査結果の一例



判定結果	$H_1$ の範囲	$D_{50}$ の範囲	$N_2$ の範囲	液状化被害の可能性
C	3m以下	5mm以上	5以上	顕著な被害の可能性が低い
B3	3m以下	5mm未満	5未満	顕著な被害の可能性が比較的低い
B2	3mを超え、5m以下	5mm以上	5以上	
B1	3mを超え、5m以下	5mm未満	5未満	顕著な被害の可能性が低い
A	5mを超える	-	-	

図-3 国土交通省指針における液状化判定結果

れやすい面ができるので、空気を遮断する目的で無機質の土質系材料（被覆土）で被覆した。改良深さは、使用する丸太の標準長さが4mで、これに充填材の深さを加えGL-5.28mとした。丸太の樹種は、県産材のスギを50%以上使うこととし、残りは長野県産材のカラマツを使用した。

表-3 に、液状化対策の概要を示す。図-5 に、丸太伏せ図と断面図を示す。液状化対策は、道路と歩道を除く 97 宅地の全面に実施した。

#### 4. 工事概要

工事の実施期間は、2015年8月1日～12月15日である。表-4 に、使用機械を示す。図-6 に、施工手順を示す。敷地が広大であるため、丸太を運搬する機械と砕石運搬のためのタイヤ

ショベルを用いた。丸太打設は、鋼管を先行回転圧入後、丸太を圧入した。その後、被覆土を投入し、人力で締め固め、砕石を投入し、バイブレータで締め固めた。施工速度を上げるために、鋼管の先行回転圧入用に、一部専用の削孔機を用いて無排土で削孔を行った。これらを3パーティーで実施した。写真-1 に、施工状況を示す。

丸太打設後に丸太間地盤で、SPTにより品質管理試験を実施した。表-5 に、液状化に対する品質管理試験結果を示す。SPT結果より液状化に対する安全率を求めた。GL-5m 以浅についていずれも液状化に対する安全率が 1.0 以上であることを確認した。図-7 に、原地盤、設計値、丸太打設後の液状化に対する安全率の深度分布の一例を示す。原地盤では、深度 4.5m

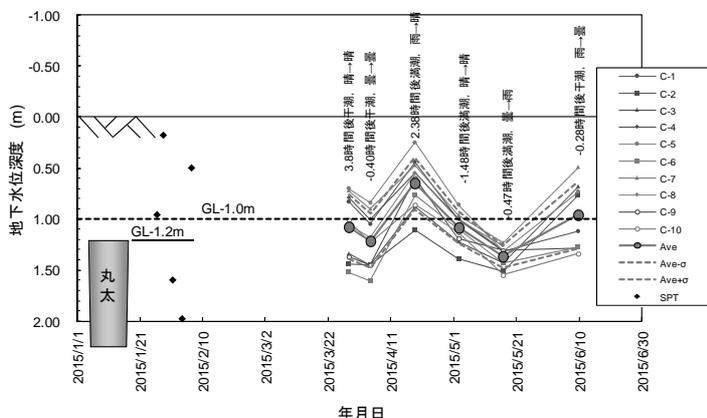


図-4 地下水位観測結果

表-3 液状化対策の概要

項目	内容
改良面積	13,382.29m <sup>2</sup>
改良深さ	5.28m
改良体積	70,658m <sup>3</sup>
丸太寸法	末口 0.15m×長さ 4.0m (先付けあり、皮剥ぎ、テープ付き)
丸太打設間隔	1.0m (正方形配置)
打設点数	7,000 本 (スギ) +6,420 本 (カラマツ) =13,420 本
丸太使用材積	1,207.8000m <sup>3</sup>



図-5 丸太伏せ図と断面図 (丸太打設間隔 1.0m)

付近で FL<1.0 であった。設計では、このような地盤を FL $\geq$ 1.0 となるように LP-LiC による丸太打設位置を設定した。LP-LiC 工法を実施することで、液状化に対する安全率は、設計値をさらに上回る結果が得られた。

丸太打設後、地盤の長期許容鉛直支持力度を確認するために、6 地点で平板載荷試験 (JGS 1521-2012, 平板直径 0.30m) を実施した。平板載荷試験は、丸太打設間地盤で実施した。表

表-4 使用機械

機械名称	型番	用途	台数
丸太打設機	BA100 (10t)	先行回転圧入, 丸太圧入	2
丸太打設機	SPD20FL (20t)	先行回転圧入, 丸太圧入	1
削孔機	SW1565	先行回転圧入	1
運搬機	ヤドカリ	丸太運搬	1
タイヤショベル	WA30 (0.4m <sup>3</sup> )	碎石運搬	2
バックホウ	PC128 (0.45m <sup>3</sup> )	整地等	1
発電機		パイプレータ碎石締固め	3

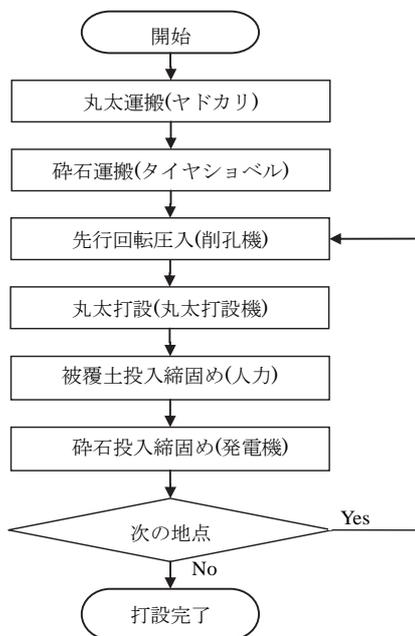


図-6 施工手順



写真-1 施工状況

-6 に、求められた長期許容支持力度を示す。いずれの地点も、120kN/m<sup>2</sup> の荷重段階においても極限荷重に達せず、長期許容鉛直支持力度は 40kN/m<sup>2</sup> 以上で、設計上必要な 30kN/m<sup>2</sup> を十分上回ることが確認された。

### 5. 炭素貯蔵効果

LP-LiC 工法の大きな特長は、丸太に固定された炭素を半無限に貯蔵できることである。今までの比較的小規模な事例において、丸太による炭素貯蔵量は、工事による二酸化炭素排出量の 10 倍を超え、大幅に上回ることが確認されている<sup>7)</sup>。

図-8 に、本工事によって丸太に貯蔵された炭素量と工事によって排出された二酸化炭素量を示す。なお、数値はいずれも二酸化炭素に換算している。本工事では継ぎ材を用いていないので、継ぎ材による排出は無い。工事によって排出される二酸化炭素量は、現場の敷地内で施工によって排出されるもののみを対象とし、敷地外の材料などの運搬や通勤、現場事務所の電気などによる排出は対象としていない。

本工事によって丸太に貯蔵された総炭素量

表-5 液状化に対する品質管理試験結果

ボーリング	深度	標高	原地盤	設計値	丸太打設後	判定
	m	KBM	FL	FL	FL	
No. 1	0.10	3.30	*2*5	*2*5	*2*5	OK
	0.60	2.80	*5	*5	*5	OK
	1.05	2.35	*5	*5	*5	OK
	1.55	1.85	*5	*5	*5	OK
	2.50	0.90	*5	*5	*5	OK
	3.35	0.05	*5	*5	*5	OK
	3.85	-0.45	2.46	2.46	2.60	OK
	4.50	-1.10	2.47	2.47	2.57	OK
No. 2	0.35	3.06	*2*5	*2*5	*2*5	OK
	0.85	2.56	1.63	2.34	2.59	OK
	1.50	1.91	1.04	1.37	1.35	OK
	2.50	0.91	1.17	1.56	1.01	OK
	3.43	-0.01	*5	*5	*5	OK
	3.93	-0.52	1.07	1.33	*5	OK
	4.50	-1.09	0.96	1.17	1.63	OK
No. 3	0.50	2.90	*5	*5	*5	OK
	1.30	2.10	*5	*5	*5	OK
	1.80	1.60	*5	*5	*5	OK
	2.50	0.90	*5	*5	*5	OK
	3.33	0.07	*5	*5	*5	OK
	3.83	-0.43	1.11	1.42	2.35	OK
	4.50	-1.10	0.97	1.18	1.77	OK
No. 4	0.15	3.23	*2*5	*2*5	*2*5	OK
	0.58	2.81	*5	*5	*5	OK
	0.93	2.46	*5	*5	*5	OK
	1.30	2.08	*5	*5	*5	OK
	1.80	1.58	*5	*5	*5	OK
	2.50	0.88	*5	*5	*5	OK
	3.18	0.21	*5	*5	*5	OK
	3.68	-0.29	2.41	2.41	2.41	OK
	4.50	-1.12	2.40	2.43	2.43	OK
	No. 5	0.13	3.31	*2	*2	*2
0.58		2.86	*5	*5	*5	OK
0.95		2.48	3.28	3.28	1.64	OK
1.20		2.23	2.83	3.05	1.30	OK
1.70		1.73	*5	*5	*5	OK
2.50		0.93	*5	*5	*5	OK
3.30		0.13	*5	*5	*5	OK
3.80		-0.37	1.40	1.84	2.44	OK
4.50		-1.07	1.16	1.44	2.46	OK

は、検討対象層

液状化判定外メッセージ	
*1	: 液状化判定を考慮しない
*2	: 地下水位面以浅に存在する土層
*3	: 液状化判定深度以深に存在する土層
*4	: 洪積層の土層
*5	: FC > 35% かつ $I_p > 15$ の土層
*6	: $D_{50} > 10\text{mm}$ の土層
*7	: $D_{10} > 1\text{mm}$ の土層

表-6 地盤の長期許容鉛直支持力度

地点番号	降伏荷重 $q_y$ (kN/m <sup>2</sup> )	極限荷重 $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	許容支持力 $q_a$ (kN/m <sup>2</sup> )	最大沈下量 $S_{max}$ (mm)	判定 $q_a \geq 30$
No. 1	—	120以上	40以上	1.59	OK
No. 2	—	120以上	40以上	1.35	OK
No. 3	—	120以上	40以上	1.27	OK
No. 4	—	120以上	40以上 </td <td>2.29</td> <td>OK</td>	2.29	OK
No. 5	—	120以上	40以上	1.15	OK
No. 6	—	120以上	40以上	2.01	OK
備考	「—」は、降伏点認められず.		$q_y/2$ or $q_u/3$ の小さい値		

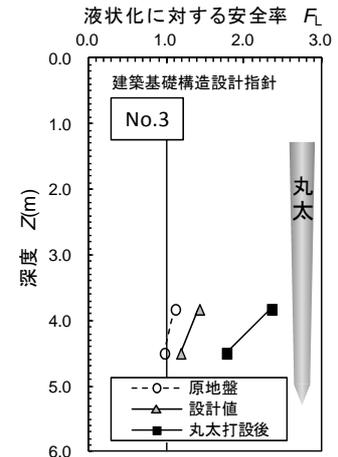


図-7 原地盤・設計値・丸太打設後の液状化に対する安全率の深度分布の一例

(二酸化炭素換算値)は 790.6t-CO<sub>2</sub>、工事によって排出された総二酸化炭素量は 37.7t-CO<sub>2</sub>、その収支は 753.0t-CO<sub>2</sub>の貯蔵側であった。

図-9 に、既往の工事における丸太材積 1m<sup>3</sup> 当たりの丸太による炭素量と工事による二酸化炭素排出量(二酸化炭素換算)の収支を示す。使用する樹種により密度が異なるので、それにより値は異なるが、本工事においてもカラマツの場合もスギの場合も、既往の工事事例と同様の傾向を示すことがわかる。このように、工事の丸太による炭素貯蔵は、既往の計測結果と同様に、丸太打設間隔が 1m と広く大規模な今回の事例においても、炭素貯蔵効果が極めて大きいことが確認された。

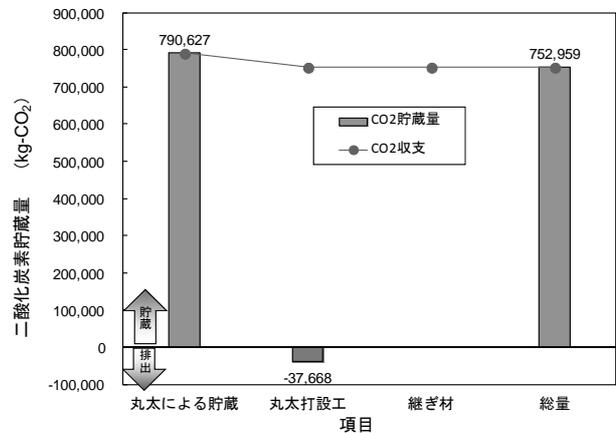


図-8 丸太による炭素量と工事による二酸化炭素排出量(二酸化炭素換算)

## 6. まとめ

- (1)大規模住宅造成地における LP-LiC 工法の設計と施工の概要を示した。
- (2)丸太打設後の地盤の液状化に対する安全率は、いずれも GL-5m 以浅で 1.0 以上であった。
- (3)丸太打設後の地盤の長期許容鉛直支持力度は、いずれも 40kN/m<sup>2</sup> 以上であった。
- (4)本工事で LP-LiC 工法により貯蔵された炭素量は、工事による排出量の 10 倍以上であり、既往の計測事例と同様に、丸太による炭素貯蔵効果が極めて大きいことが確認された。

本報は、文献 9)を再編集したものである。

謝辞：本工事の一部は、農林水産省平成 27 年度新たな木材需要創出総合プロジェクト事業(地域材利用促進のうち新規分野における木材利用の促進)の補助を受けて実施したものである。ここに記して感謝致します。

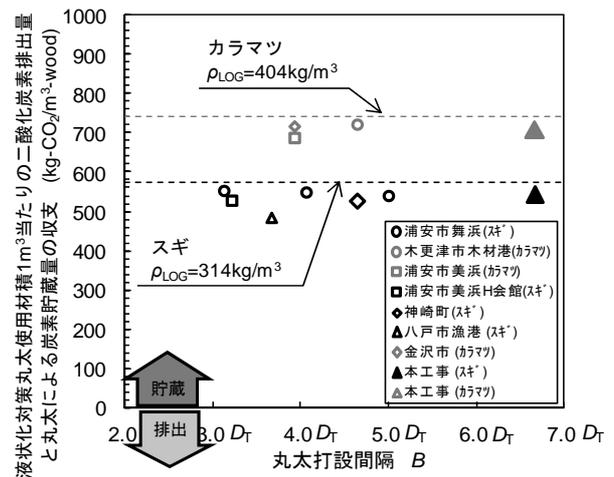


図-9 丸太材積 1m<sup>3</sup> 当たりの丸太による炭素量と工事による二酸化炭素排出量(二酸化炭素換算)

## 参考文献

- 1) 中村裕昭, 濱田政則, 沼田淳紀: 土木分野での木材地中使用する歴史的事例, 木材利用研究論文報告

- 集 11, 土木学会木材工学特別委員会, pp.95-101, 2012.8.
- 2) 国土交通省都市局：宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針, 2013.4.
- 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 2001.
- 4) 地盤工学会：液状化対策工法, p.238, 2004.7.
- 5) 沼田淳紀, 淡路一成, 村田拓海：地下水変動を考慮した種々の土質を用いた木材の生物劣化試験, 木材利用研究論文報告集 14, 土木学会木材工学委員会, pp.111-116, 2015.8.
- 6) 土質工学会：入門シリーズ 8 地下水入門, p.35, 1988.
- 7) 沼田淳紀, 村田拓海, 三輪滋：丸太を用いた液状化対策工法による炭素貯蔵効果, 第 66 回日本木材学会大会研究発表要旨集, Q29-07-1030, 2016.3.
- 8) 沼田淳紀, 村田拓海, 三輪滋, 飯田達夫, 川崎淳志, 松下克也：大規模分譲住宅地における LP-LiC による炭素貯蔵効果, 土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集, V-076, pp.151-152, 2016.9.
- 9) 沼田淳紀, 松下克也, 村田拓海, 川崎淳志, 三輪滋：LP-LiC 工法の大規模分譲住宅造成への適用事例, 木材利用研究論文報告集 15, 土木学会木材工学委員会, pp.83-88, 2016.8.